PARIJS

N° d'enregistrement
au C.N.R.S.

A. 0.11.933

Article principal

recouvrant en partie

la T H E S E présentée

pour l'obtention

du titre de **DOCTEUR INGENIEUR**

MATHEMATIQUES - INFORMATIQUE

à l'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

par M. LEFEVRE Xavier

sujet de la thèse : SURVEILLANCE SIMULEE DE LA NAVIGATION PORTUAIRE - AIDE A LA DECISION DES OFFICIERS DE PORT

soutenue le : 21 novembre 1975

devant la Commission d'examen composée de :

- M. ARSAC Président
- M. FAURE examinateur
- M. SIESTRUNCK

N° d'enregistrement au C.N.R.S.
A. 0.11.933

Article principal

recouvrant en partie

la T H E S E présentée

pour l'obtention

du titre de **DOCTEUR INGENIEUR**

MATHEMATIQUES - INFORMATIQUE

à l'UNIVERSITE PIERRE ET MARIE CURIE

par M. LEFEVRE Xavier

sujet de la thèse : SURVEILLANCE SIMULEE DE LA NAVIGATION PORTUAIRE - AIDE A LA DECISION DES OFFICIERS DE PORT

soutenue le : 21 novembre 1975

devant la Commission d'examen composée de :

- M. ARSAC Président
- M. FAURE examinateur
- M. SIESTRUNCK

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

AVERTISSEMENT

L'étude se compose de deux parties :

- La première, intitulée "SURVEILLANCE SIMULEE DE LA NAVIGATION PORTUAIRE" constitue un tronc commun à cette thèse et à la thèse de 3ème cycle présentée par Thomas DEGRE à l'Université Pierre et Marie CURIE.

- La deuxième partie, intitulée "AIDE A LA DECISION DES OFFICIERS DE PORT" a fait l'objet de mon travail personnel.

L'article présenté résume, sous le titre : "SIMULATION DU FONCTIONNEMENT D'UN PORT ET DE SES DISPOSITIFS DE SURVEILLANCE DE LA NAVIGATION" la première partie de cette thèse. Il a été publié par l'Association Internationale de la Signalisation Maritime (A.I.S.M.) à l'occasion de sa IXème Conférence internationale qui s'est tenue au mois d'août 1975.

Un bref résumé de la deuxième partie est joint à la suite de l'article.

SIMULATION DU FONCTIONNEMENT D'UN PORT ET DE SES DISPOSITIFS DE SURVEILLANCE DE LA NAVIGATION

I - INTRODUCTION

On ne dispose encore que de très peu d'informations numériques sur la nature des services rendus par les systèmes de surveillance de la navigation dans un port tels que les radars de surveillance portuaire. Une première tentative d'évaluation objective de l'efficacité d'un radar de surveillance portuaire a été faite par MM. David et Lévy [1]. Cette première tentative a consisté à comparer sur le site, pendant une période déterminée, la situation réelle du trafic en présence d'un radar de surveillance portuaire avec celle qui se serait produite à la même époque en l'absence de radar.

L'objet de ce rapport est de présenter une approche de la question par simulation sur ordinateur, au moyen de laquelle on espère pouvoir comparer non seulement des situations passées, mais également des situations futures ou hypothétiques.

2 - LE PROBLEME

Les divers systèmes de surveillance de la navigation dont dispose l'autorité portuaire (radar ou tout autre moyen d'acquisition d'informations sur la position et la vitesse des navires dans un port) lui permettent en général de gérer dans de bonnes conditions l'écoulement du trafic. Mais dans quelle mesure peut-on affirmer que tel système de surveillance est plus efficace que tel autre ? Est-on capable en outre d'établir entre ces divers systèmes de surveillance une échelle de valeurs, en chiffrant par exemple pour chacun d'eux le service rendu ?

Pour tenter de répondre à ces questions, on s'est essentiellement proposé de construire un outil permettant de comparer, pendant une période déterminée, pour un port et un trafic donnés (heures d'arrivée des navires, types, sens, quais d'occupation, ...) divers systèmes de surveillance de la navigation dont dispose l'autorité portuaire, les critères de comparaison étant :

- les temps d'attente des navires devant faire mouvement,
- le nombre de situations dangereuses.

Qu'entendons-nous par temps d'attente et situations dangereuses ?

Temps d'attente :

D'une manière générale, un port peut être considéré comme un système offrant un ensemble de services devant satisfaire les besoins des navires, à partir du mement où ils arrivent sur rade, et celui où ils quittent le port, après avoir réalisé leurs opérations commerciales.

Comme dans toute organisation fondée sur le principe d'un partage de ressources entre plusieurs utilisateurs, il apparait un certain nombre de contraintes pouvant se traduire pour les navires par des attentes de diverses natures. Ces contraintes peuvent se classer en deux groupes :

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548117_0006

a) Les contraintes intervenant sur la manoeuvre d'entrée ou de sortie des navires (de la rade à l'accostage, de l'appareillage au large),

b) Les contraintes dues à l'indisponibilité des moyens nécessaires à la réalisation des opérations commerciales une fois que le navire est à quai.

Dans le premier groupe apparaissent les contraintes relatives :

- aux conditions nautiques : météo (visibilité, vent, houle), marée (courant, hauteur d'eau);

- à l'indisponibilité de certains moyens matériels mis à la disposition du navire pour effectuer sa manoeuvre, tels que poste à quai, pilote, remorqueurs, lamaneurs),

- à l'état du trafic dans la zone portuaire, au moment où le navire désire effectuer sa manoeuvre.

Dans le deuxième groupe apparaissent les contraintes dues à l'indisponibilité

- de la manutention (engins et bordées)

- des hangars et aires de stockage,

- des moyens d'acheminement du frêt vers l'hinterland,

- du personnel devant accomplir les formalités administratives (immigration, santé, douane).

Pour la rigueur nous dirons

- qu'un navire est prêt à affectuer sa manoeuvre

  . d'entrée, s'il est sur rade et si les moyens mis à sa disposition pour effectuer sa manoeuvre (poste à quai, pilotes, remorqueurs, lamaneurs) sont réunis;

  . de sortie, s'il a totalement achevé ses opérations commerciales, et si les moyens mis à sa disposition pour effectuer sa manoeuvre (pilotes, remorqueurs, lamaneurs) sont réunis.

- qu'il peut effectuer sa manoeuvre d'entrée ou de sortie

  i) s'il est prêt,

  ii) si les conditions nautiques et les conditions de trafic lui sont favorables.

Dans cette étude, nous entendrons par temps d'attente d'un navire la différence entre l'heure à laquelle il peut effectuer sa manoeuvre, et celle à laquelle il est prêt.

Situation dangereuse :

On définira une situation dangereuse comme étant une situation contrevenant aux règles d'exploitation fixées par le port, ces règles ayant principalement pour objet d'assurer la sécurité du trafic dans chacune des zones portuaires.

L'étude qui fait l'objet du présent rapport ne concerne donc ni les causes, ni les conséquences de l'indisponibilité des moyens mis à la disposition des navires. Elle ne vise qu'à comparer les conditions dans lesquelles évolue le trafic dans un port, lorsque l'autorité portuaire dispose de divers systèmes de surveillance de la navigation, une fois ces moyens réunis.

3 - LE MODELE

On décrira successivement :
- le port et ses règles de fonctionnement,
- la manière dont ont été caractérisés les divers moyens de surveillance de la navigation dont dispose l'autorité portuaire.

3.1. - Le port et ses règles de fonctionnement :

a) Les ouvrages portuaires :

Le croquis joint en annexe 1 est un schéma simplifié du port du Havre. Ce schéma a été mis au point après discussion avec l'autorité du port et on pense que malgré la simplification admise il n'est pas irréaliste. Il comprend les zones portuaires suivantes : un chenal balisé, un avant-port, une écluse donnant sur un bassin à flot (Bassin I), un bassin de marée (Bassin II), séparé en 2 zones Z_1 et Z_2).

b) Les navires :

Un navire est caractérisé par la série de paramètres suivants : longueur, largeur, tirant d'eau, type, durées théoriques de parcours du chenal, de l'avant-port, des bassins, durée théorique d'évitage.

D'autres paramètres nous indiquent : son sens, le numéro du bassin où il se rend ou d'où il vient, son heure d'appel à la tour de contrôle.

Les navires sont supposés arriver suivant un processus de Poisson de paramètre λ (type).

Types de navires :

Le modèle prend en compte 3 classes de navires :

- les navires de type B, prioritaires, de fort tirant d'eau, ne pouvant engainer qu'au niveau du bateau-feu; ces navires ne font mouvement que vers le bassin II (pétroliers de plus de 200 000 tW),
- les navires de type C, ayant une cargaison dangereuse ou offrant une prise au vent importante. Leur tirant d'eau est tel qu'ils peuvent engainer ailleurs qu'au niveau du bateau-feu,
- les navires de type A sont les navires n'appartenant ni à la classe B ni à la classe C.

Les navires entrants A et C peuvent faire mouvement vers les bassins I ou II.

Les navires sortants A et C peuvent provenir des bassins I et II.

Les navires sont supposés confirmer leur heure d'arrivée sur rade (ETA) ou leur heure de sortie du port 3 heures avant.

c) L'autorité portuaire :

L'autorité portuaire est physiquement installée dans un centre d'informations et de décisions (sémaphore).

Nous avons posé les hypothèses suivantes :

- L'autorité portuaire est supposée concentrée entre les mains d'un organisme unique et dont les décisions ne sont pas sujettes à discussion,
- Les navires demandent toujours à l'autorité portuaire l'autorisation de commencer leur manoeuvre, au moment où ils sont prêts au sens de notre définition),
- le rôle de l'autorité portuaire est d'organiser et de contrôler le trafic dans la zone portuaire.

c.1 - Organisation du trafic :

A la demande d'autorisation d'entrée ou de sortie formulée par un navire, l'autorité portuaire lui ordonne :

- ou bien d'attendre, car il y a des navires plus prioritaires déjà en attente. Cette décision est prise à partir d'un certain nombre de règles de priorité fixées à l'avance;

- ou bien de commencer sa manoeuvre à une certaine heure.

Cette heure de départ, la plus proche possible de l'heure de la demande, est déterminée par l'autorité portuaire en fonction :

. des mouvements déjà existants dans le port au moment de la demande,
. d'un certain nombre de règles de sécurité établies par le port. D'une manière générale, ces règles interdisent la présence simultanée de tel ou tel type de navire en mouvement dans la même zone portuaire.
(Une définition complète des règles de priorité et de sécurité retenues est donnée en annexe).

c.2 - Contrôle du trafic en cours :

A tout moment, lorsqu'elle le juge nécessaire et possible, l'autorité portuaire intervient auprès d'un navire en mouvement, en lui donnant des ordres d'arrêt ou de ralentissement, afin d'éviter une situation dangereuse.

Discussion des hypothèses posées :

Ces hypothèses sont assez fortes :

L'affectation d'une heure de départ à un navire par l'autorité portuaire n'est pas toujours systématique. Le plus souvent, l'autorité portuaire donne au pilote des indications sur l'état du trafic et lui signale les problèmes qu'il risque de rencontrer au cours de sa manoeuvre. Le pilote règle alors sa vitesse en fonction des indications qui lui ont été fournies.

Dans la pratique, les règles de sécurité ne sont pas aussi rigoureuses que celles du modèle. Celles-ci dépendent de l'autorité portuaire et des pilotes. Il arrive en effet souvent que les pilotes, à la suite d'un dialogue entre eux et sous contrôle de l'autorité portuaire, peuvent se placer sans risque dans une configuration qui, d'après les règles du modèle, aurait été décrétée dangereuse.

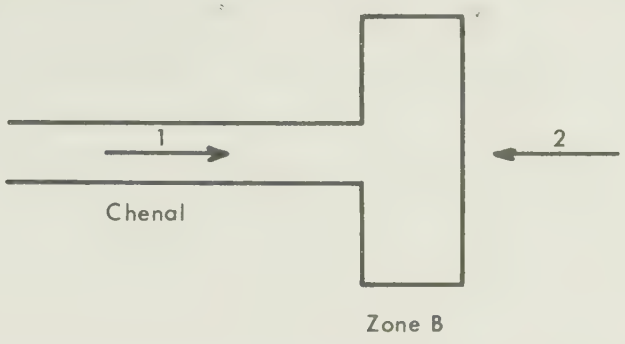
Toutefois on peut espérer que, s'agissant de comparer deux systèmes de surveillance associés à un même port, satisfaisant à des règles de fonctionnement fondées sur un corps d'hypothèses unique, une erreur raisonnable sur le corps d'hypothèses est sans grande influence sur le résultat de la comparaison.

3.2 - Caractérisation des moyens de surveillance de la navigation dont dispose l'autorité portuaire - Fonctions d'estimation

Nous considérons dans cette étude que l'autorité portuaire dispose ou non d'un radar de surveillance portuaire.

Précisons les mécanismes suivant lesquels l'autorité portuaire (que nous appelerons désormais "Officier de port") ou bien affecte une heure de départ à un navire lui ayant formulé une demande d'autorisation de faire mouvement, ou bien ordonne à un navire déjà en mouvement de ralentir ou de s'arrêter dans une zone portuaire.

Afin d'illustrer ceci, prenons un exemple simple. Soit un port schématisé par la figure ci-dessous :



Supposons qu'à l'instant t où le navire 2 fait sa demande de sortie, le navire 1 soit en cours d'entrée dans le chenal. Supposons en outre que le croisement de ces deux navires soit interdit dans la zone B. Le but de l'officier de port est de servir 2 le plus tôt possible, en toute sécurité. Pour cela, il devra, à l'instant t :

- évaluer l'heure h(t) d'entrée de 1 dans B,
- évaluer l'heure s(t) de sortie de 2 de B,
- donner l'autorisation de départ au navire 2 à t si

$$s(t) + \text{marge de sécurité} \leqslant h(t),$$

- refuser l'autorisation sinon.

En d'autres termes, la décision de l'officier de port est prise sur la foi d'estimations, faites à t, de la durée de manoeuvre de 1 dans le chenal, et de celle de 2 dans B.

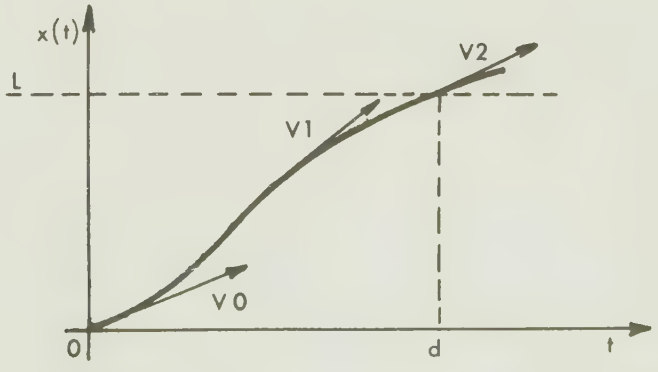
De façon générale, étant donné un navire en mouvement dans une zone portuaire Z, on appelle fonction d'estimation de la durée de manoeuvre totale d de ce navire dans Z, à un instant quelconque t, la fonction :

$$\beta(t,d) = d + E(t,d)$$

où E(t,d) représente l'erreur faite à t par l'officier de port sur d. Cette erreur peut être due :

- à la connaissance imparfaite qu'a l'officier de port de la position et de la vitesse du navire à l'instant t dans la zone portuaire considérée,
- à la connaissance imparfaite qu'a l'officier de port de la manière dont ce navire a évolué dans cette zone jusqu'à t.

La connaissance de ces informations est évidemment liée aux moyens de surveillance de la navigation dont dispose l'officier de port. Prenons par exemple comme zone portuaire le chenal. Nous conviendrons que les graphes des équations horaires du mouvement des navires dans le chenal sont représentés par une famille de courbes dont un exemplaire a l'allure suivante :



L = longueur du chenal

Supposons maintenant qu'un navire soit en mouvement dans le chenal à un instant t, heure à laquelle l'officier de port désire estimer sa durée totale de manoeuvre dans le chenal.

a) Estimation de l'officier de port avec utilisation du radar

Fonctions d'estimation continues

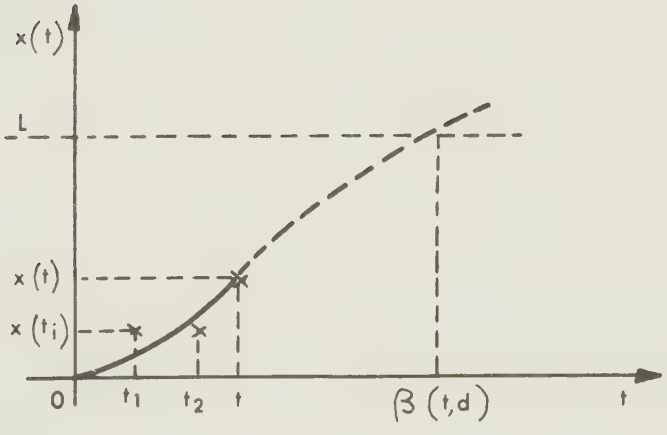
Un système de surveillance de la navigation tel que le radar est un outil permettant de connaitre avec précision, à tout instant t :

- la position des navires en mouvement,
- le "passé" de ces navires, c'est-à-dire la manière dont ils ont évolué jusqu'à t .

En supposant que l'officier de port ait noté à partir des relevés sur l'écran radar les dates et les positions

$$(t_i,\ x(t_i))_{i = 1, \ldots\ldots, n}$$

qu'occupait ce navire dans le chenal à des instants précédant t , l'estimation de la durée totale d de manoeuvre dans le chenal pourra être obtenue à tout instant t par l'officier de port en extrapollant la courbe d'évolution qu'il connait jusqu'à t .



Il est clair que plus l'officier de port aura recueilli de renseignements sur la courbe d'évolution, et plus ces renseignements seront précis, meilleure sera son estimation de d , l'officier de port pouvant alors procéder, grâce au radar, à des estimations de d d'une manière quasi continue.

b) Estimation de l'officier de port sans utilisation du radar

Fonctions d'estimation discrètes

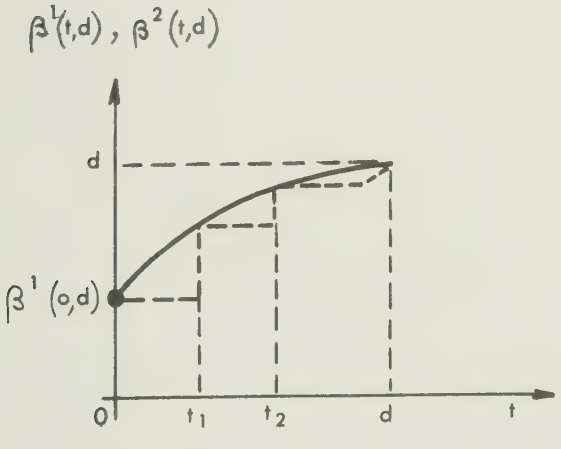
Dans ce cas, tant que le navire n'est pas suffisamment près des digues, la seule possibilité pour l'officier de port de pouvoir apprécier avec une précision correcte la position et la vitesse du navire en mouvement dans le chenal est d'entrer en communication radio avec le pilote. On conçoit aisément que cette prise d'informations ne puisse se faire trop souvent sous peine de détourner l'attention du pilote. Aussi entre deux liaisons radio l'estimation de la durée totale de manoeuvre du navire dans le chenal reste la même, l'officier de port pouvant procéder, s'il le désire, à une nouvelle estimation après être à nouveau entré en communication avec le pilote.

La forme des fonctions d'estimations avec et sans radar parait pouvoir être déterminée au moyen d'enquêtes convenables portant, pour chacune des zones, sur un grand nombre de navires et d'officiers de port. Ces enquêtes n'ont pas jusqu'à présent pu être faites, mais en attendant on peut penser que les fonctions d'estimations sont croissantes ou décroissantes avec le temps, ce qui intuitivement traduirait le fait que l'officier de port estime de mieux en mieux la durée de manoeuvre d'un navire dans une zone portuaire, au fur et à mesure qu'il possède des renseignements plus nombreux sur l'avancement de ce navire.

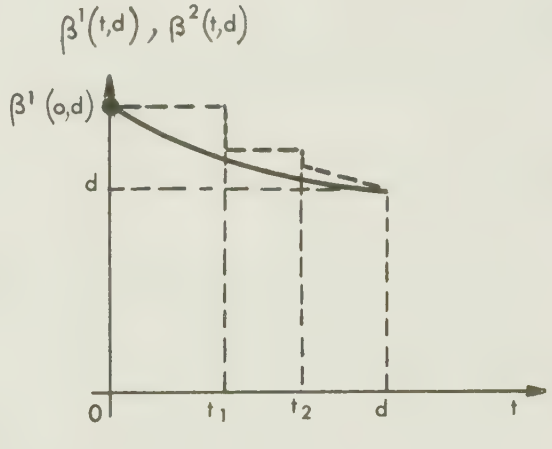
En définitive, les estimations par un officier de port utilisant un radar portuaire seront caractérisées, pour chacune des zones portuaires, par une fonction d'estimations continue, $\beta^1(t,d)$ croissante ou décroissante en t.

Les estimations par un officier de port ne disposant pas de radar seront caractérisées, pour chacune des zones portuaires par une fonction d'estimations discrète $\beta^2(t,d)$, croissante ou décroissante en t, telle que

pour tout t, $| \beta^1(t,d) - d | \leq | \beta^2(t,d) - d |$



Cas où $\beta^1(o,d) = \beta^2(o,d) < d$



Cas où $\beta^1(o,d) = \beta^2(o,d) > d$

——— $\beta^1(t,d)$: fonction d'estimation avec radar,

- - - - $\beta^2(t,d)$: fonction d'estimation sans radar, les points t_i de discontinuité de la fonction $\beta^2(t,d)$ correspondant aux instants où l'officier de port corrige ses estimations antérieures, après avoir reçu du pilote des indications sur la position et la vitesse du navire.

4 - QUELQUES ASPECTS DE LA REALISATION INFORMATIQUE DU MODELE

4.1 - Les modèles digitaux [2]

Dans ce type de simulation, le système réel que l'on veut étudier est représenté en machine par un modèle où l'on peut distinguer :

- Un ensemble de nombres dont les valeurs sont celles de paramètres représentatifs de l'état du système,

- Un programme qui effectue un traitement sur ces nombres, et représente la façon dont l'état du système varie au cours du temps (ceci étant appelé la dynamique du système).

La partie dynamique du modèle qui simule l'évolution au cours du temps de l'état du système, consiste en un certain nombre de sous-programmes, dont chacun peut être identifié à un évènement, c'est-à-dire à une action instantanée pour l'horloge du modèle. L'évènement modifie l'état du système conformément à l'activité réelle qu'il simule.

4.2 - Les principaux évènements définis dans le Programme

4.2.1 - L'évènement APPEL

A cet évènement correspond la prise de contact d'un navire avec la tour de contrôle. Il se produit lorsque le navire est prêt à effectuer sa manoeuvre. L'officier de port connait alors toutes les caractéristiques de ce navire.

4.2.2 - L'évènement TOUR DE CONTROLE

Cet évènement simule l'activité de l'officier de port; nous rappelons qu'elle consiste à organiser et contrôler le trafic en respectant les règles de priorité et les règles de sécurité établies par l'autorité portuaire.

a) Assurer le respect des règles de priorité

Etant donné l'existence de règles de priorité et de contraintes dues aux conditions nautiques, l'officier de port ne traite (*) pas systématiquement le navire à l'instant où celui-ci lui demande l'autorisation de faire mouvement. Dans ce cas, il attribue au navire un degré de priorité qui dépend essentiellement de son type et des contraintes que peut lui imposer la marée.

Il classe cette demande, par ordre de priorité, dans une liste d'attente qui peut éventuellement être vide.

Cette liste d'attente est constamment remise à jour par l'officier de port car le degré de priorité d'un navire peut évoluer avec le temps.

Par exemple, le degré de priorité d'un navire risquant d'être gêné par la marée croit avec le temps qu'il lui reste pour pouvoir effectuer sa manoeuvre.

La demande d'un navire figurant dans la liste d'attente sera traitée lorsqu'elle sera devenue la plus prioritaire.

Dans le modèle, cette gestion est faite par un sous-programme qui gère des files d'attente.

(*) Traiter veut dire ici : affecter une heure de départ au navire.

b) Assurer le respect des règles de sécurité

Pour assurer cette tâche, l'officier de port intervient à deux niveaux :

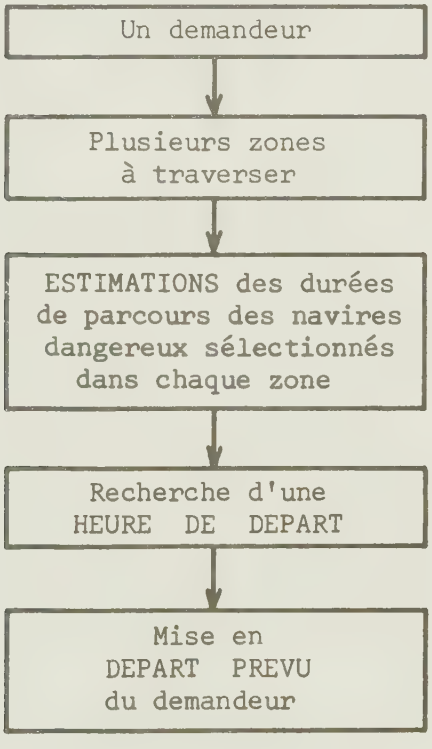
- au niveau d'un navire demandeur en lui affectant une heure de départ, fonction du trafic existant,
- au niveau du trafic existant en contrôlant les mouvements.

b.1 - Affection d'une heure de départ à un demandeur

Les règles de sécurité permettent d'établir pour chacune des zones empruntées par le demandeur, la liste des navires en mouvement ou en départ prévus que le demandeur ne devra pas y rencontrer.

Ces navires sont appelés par la suite : navire dangereux pour le demandeur dans la zone Z . Cette sélection impose un important CODAGE permettant d'identifier le type des navires, leur sens, leur bassin de provenance ou de destination.

Position du Problème



Principe de la solution adoptée :

1 - Tables d'occupation estimées (ESTOC)

Pour chaque zone traversée par le demandeur, on dresse une table d'occupation qui contient les heures d'entrée et de sortie de tous les navires dangereux en mouvement ou en départ prévu devant emprunter cette zone, ces différentes heures étant estimées à l'heure de prise en charge (t) du demandeur, à l'aide des fonctions d'estimations définies précédemment. D'où la notation ESTOC (Z,t) qui désigne la table d'occupation estimée de la zone Z à l'heure t.

2 - Recherche des créneaux - Affectation de l'heure de départ

- Soit Z_1, Z_2, ... Z_n les zones que va traverser le demandeur (classées par ordre chronologique)
- Soit HDEP, une variable courante initialisée à t et qui contiendra, après traitement, l'heure de départ affectée au demandeur
- Soit T_i l'estimation initiale faite par l'officier de port sur le temps d'occupation de la zone Z_i par le demandeur.
- L'Algorithme CRENEAU recherche l'heure HDEP, la plus proche de t , à laquelle le demandeur peut commencer sa maneouvre pour qu'il trouve dans chaque zone un créneau; on a :

$$HDEP = CRENEAU (ESTOC(Z_1,t), \ldots ESTOC(Z_n,t), T_1, \ldots T_n)$$

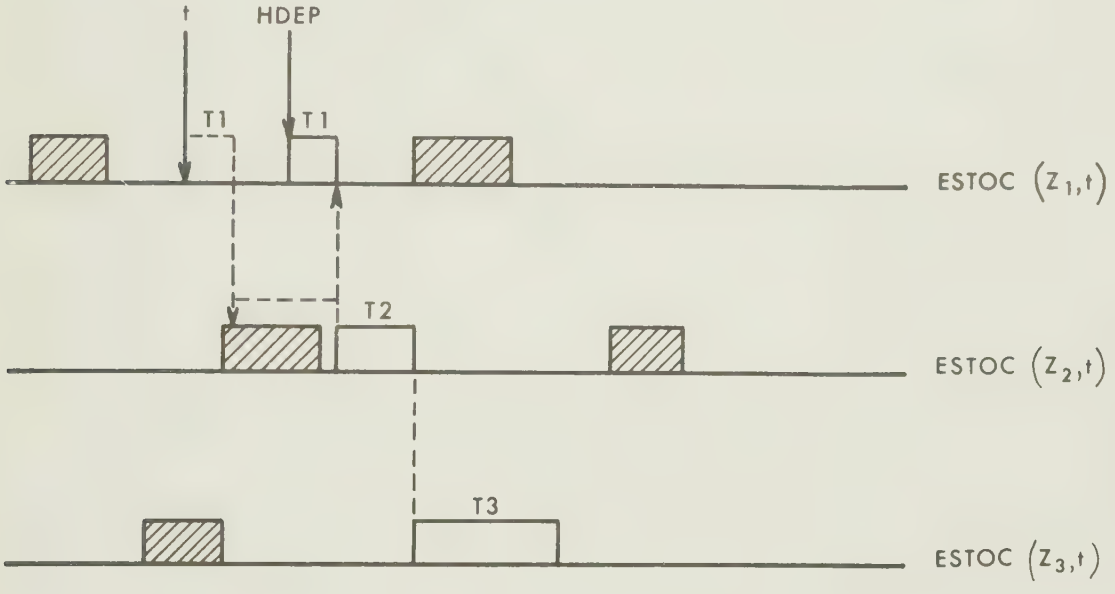


Schéma de principe de l'Algorithme CRENEAU

▨ durée d'occupation estimée des navires en mouvement ou en départ prévu

▭ durée d'occupation estimée du demandeur.

b.2 - Contrôle du trafic existant

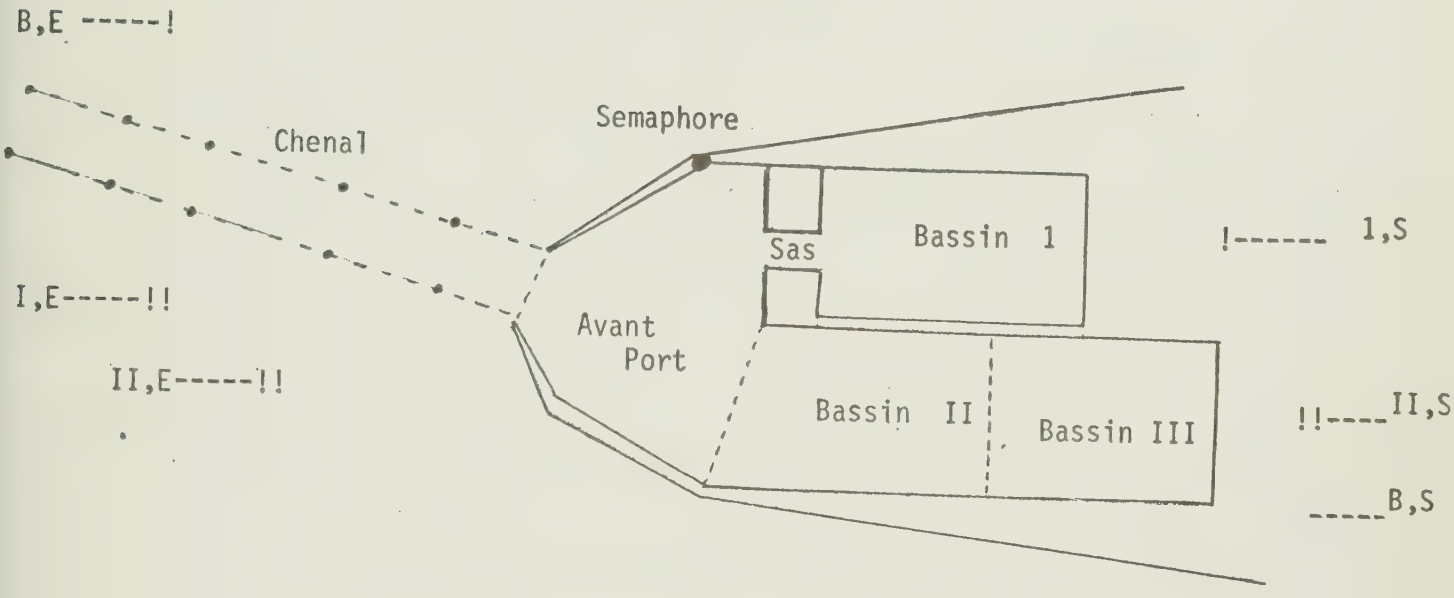
Quelle que soit la qualité de ses estimations, l'officier de port peut commettre des erreurs sur les temps d'occupation des navires, ce qui risque d'entraîner des situations dangereuses. S'il s'en aperçoit à temps, il pourra intervenir sur les navires en leur donnant l'ordre de ralentir ou de s'arrêter, si toutefois cela est possible. Sinon une situation dangereuse sera détectée.

Dans le programme, ce contrôle est réalisé par un superviseur qui déroule à intervalles de temps réguliers, pour chaque navire en mouvement, l'Algorithme CRENEAU.

4 ETUDE DE LA SENSIBILITE DES RESULTATS AU PARAMETRAGE DES DONNEES DE la SIMULATION

2.1.Rappels concernant le modele

a) Schema du port et files d'attente



I,E : file d'attente des navires A,C entrants bassin I
I,S : file d'attente des navires A,C sortants bassin I
II,E: file d'attente des navires A,C entrants bassin II
II,S: file d'attente des navires A,C sortants bassin II
B,E : file d'attente des navires B entrants (bassin II)
B,S : file d'attente des navires B sortants (bassin II).

b) Types de navires

Le modèle prend en compte 3 types de navires :

- Les navires de type B, prioritaires, de fort tirant d'eau (pétroliers de 200.000 tdw ou plus). Ces navires ne font mouvement que vers le bassin II.
- Les navires de type C, ayant une cargaison dangereuse ou offrant une prise au vent importante (pétroliers moyens, portes conteneurs, méthaniers, ...
- Les navires de type A, sont tous les autres navires.

.../...

Les navires A et C peuvent faire mouvement vers les bassins I ou II.

I.3 Les fonctions d'estimation

Celles-ci caractérisent la présence ou l'absence d'un radar de surveillance portuaire.

Définition : On appelle fonction d'estimation de la durée de manoeuvre totale $d_Z(x)$ d'un navire x dans une zone portuaire Z, à un instant quelconque t, la fonction :

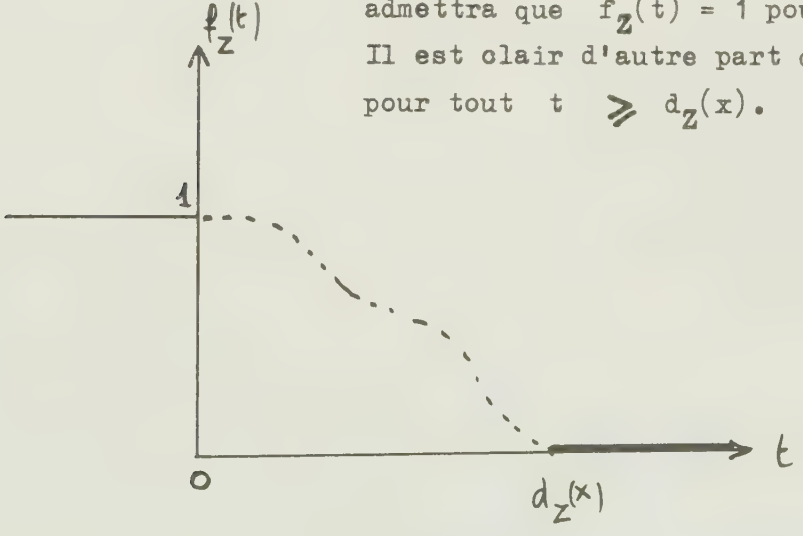
$$\beta(t, d_Z(x)) = d_Z(x) + E(t, d_Z(x))$$

où $E(t, d_Z(x))$ représente l'erreur faite à l'instant par l'officier du port sur $d_Z(x)$.

Posons $E(t, d_Z(x)) = E_o(d_Z(x)) \cdot f_Z(t)$.

- $E_o(d_Z(x))$ représente l'erreur initiale, faite à $t = 0$ par l'officier de port sur $d_Z(x)$.

- A condition que $f_Z(t) = 1$ pour $t = 0$ et $f_Z(t) = o$ pour $t = d_Z(x)$, $f_Z(t)$ apparaît comme une fonction de correction de l'erreur initiale faite par l'officier du port sur $d_Z(x)$, dans la zone Z. Pour plus de généralités, on admettra que $f_Z(t) = 1$ pour tout $t \leq 0$. Il est clair d'autre part que $f_Z(t) = 0$ pour tout $t \geqslant d_Z(x)$.



.../...

I.4. Les règles de sécurité

- dans le chenal : pas de navires en mouvement avec un navire de type B.

- dans l'avant-port :
  - pas de navires en mouvement avec un navire de type B,
  - es navires de types C ne peuvent y faire mouvement simultanément.

- dans le sas : Sauf si plusieurs navires peuvent sasser ensèmbles, les navires sasseront les uns après les autres.

- dans le Bassin I : pas de navires en mouvement dans la zone d'évitage d'un navire.

- dans les bassins II et III :
  - pas de navires en mouvement dans la zone d'évitage d'un navire,
  - pas de navires en mouvement avec un navire de type B.

I.5. Les données du modèle de simulation

- Durée de la simulation : 3 semaines, des essais antérieurs ayant permis de constater que les résultats deviennent stables au bout de 15 jours.
- Types de navires et configuration géométrique du port (liste des bassins, des écluses, des chenaux, avant-port, et leurs caractéristiques).
- Courbe de marée
- Règles de priorité appliquées dans ce port.
- Règles de sécurité appliquées dans ce port .
- Loi des durées réelles de parcours des navires dans chacune des zones portuaires.

.../...

- Loi des erreurs initiales faites par l'officier de port sur ces durées.
- Fonctions d'estimation de ces durées, par l'officier de port.
- Loi d'arrivée et de départ des navires.

Nous avons paramétré les données suivantes(X) :

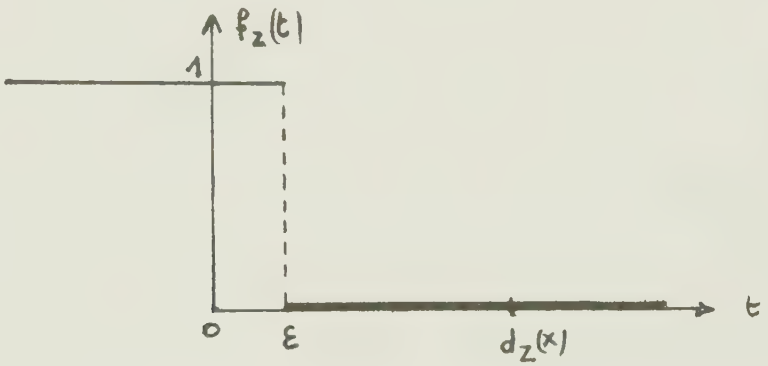
- les fonctions d'estimation,
- les erreurs initiales,
- la cadence d'arrivée des navires du type A,C.

I.5.1. Les fonctions d'estimation

Leur paramétrage a consisté à en retenir deux types :

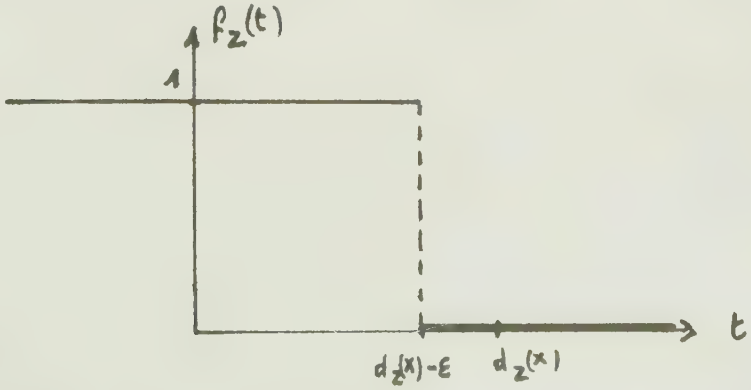
- Les fonctions d'estimation favorables (F)

Ce sont des fonctions pour lesquelles les fonctions de correction $f_Z(t)$ sont nulles pour tout t, sauf pour $t < \varepsilon$ (ε très petit devant $d_Z(x)$)



- les fonctions d'estimation défavorables (D)

Ce sont des fonctions pour lesquelles les fonctions de correction $f_Z(t)$ valent 1 pour tout t, sauf pour $t > d_Z(x) - \varepsilon$.



Nous avons également paramétré les règles de sécurité, afin de juger de leur effet sur les résultats. Les résultats de ce paramétrage figurent en annexe.

I.5.2. Les erreurs initiales $E_o(d_Z(x))$

A l'issue de l'enquête menée en Avril 1972 au Port Autonome du Havre, les temps d'occupation des navires ont pu être déterminés, dans chacune des zones portuaires, en fonction de leur type, de leur sens, et du bassin de destination ou de provenance.

Si I_Z (type, sens, destination) et S_Z (type, sens, destination) représentent respectivement les bornes inférieures et supérieures des temps d'occupation des navires de type, sens et destination, déterminés dans une zone Z donnée, la durée réelle d_Z (type, sens, destination) est tirée dans le modèle suivant une loi uniforme sur $[I_Z, S_Z]$ et l'erreur initiale E_o faite par l'officier de port sur cette durée est obtenue par la formule :

$$\frac{I_Z + S_Z}{2} - d_Z$$

Le paramétrage des erreurs initiales a consisté à multiplier E_o par 1, 3 et 5, ce qui correspond respectivement à des erreurs initiales faibles, moyennes, très importantes.

I.5.3. La cadence moyenne d'arrivée des navires de type A, C ($\lambda_{A,C}$)

Les navires de type A, C sont supposés faire leur demande d'entrée ou de sortie suivant une loi de Poisson $\mathcal{P}(\lambda_{A,C})$. Nous avons retenu 5 cadences moyennes de demandes d'entrées-sorties :

$\lambda_{A,C}$ = 60, 80, 100, 110, 120 demandes d'entrées-sorties par jour :

Les navires de types B sont supposés faire leur demande d'entrée ou de sortie suivant une loi de Poisson $\mathcal{P}(\lambda_B)$ avec λ_B = 2 demandes d'entrées-sorties par jour.

I.5.4. Résumé

5 valeurs pour	:	60, 80, 100, 110, 120
3 valeurs pour les erreurs initiales	:	E_o, $3E_o$, $5E_o$
2 fonctions d'estimation	:	F, D

Au total 30 simulations.

.../...

Remarques :

La génération d'une variable aléatoire de loi continue, quelconque, est obtenue en machine à partir d'un tirage uniforme sur [0,1] . D'une simulation sur l'autre, on a fait en sorte que , la séquence des tirages soit toujours la même. On peut donc être assuré que pour $\lambda_{A,C}$ constant, la séquence des navires générés est rigoureusement identique d'une simulation sur l'autre, du point de vue de leurs heures de demandes d'entrée-sortie, et de leurs caractéristiques, ce qui permet de comparer, pour un navire donné, les résultats issus de plusieurs simulations.

II.- LES RESULTATS

II.1. Temps d'attente

II.1.1. Comparaison des attentes moyennes

Le tableau 1 et la courbe correspondante représentent l'influence de la cadence d'entrée-sortie λ sur la différence entre les temps moyens d'attente $\overline{A}_D$ des navires A,C avec les fonctions d'estimation défavorables, et les temps moyens d'attente $\overline{A}_F$ des navires A,C avec les fonctions d'estimation favorables, pour 3 familles d'erreurs initiales e_o : E_o , $3\,E_o$, $5\,E_o$. Autrement dit $\overline{A}_D - \overline{A}_F$ représente le gain moyen procuré par les fonctions F sur l'attente moyenne d'un navire.

Les résultats obtenus permettent d'affirmer que le modèle réagit dans le sens attendu. En effet :

Pour les navires de type A,C

- Les attentes moyennes croissent avec λ et e_o (tableau 1)
- Quels que soient λ et e_o, les attentes moyennes recueillies avec les fonctions d'estimation défavorables sont toujours supérieures à celles recueillies avec les fonctions favorables (tableau 1).
- Les différences de ces attentes croissent également avec λ et e_o (tableau 1 et courbe 1).

.../...

Pour les navires de type B

Mises à part les attentes dues à la marée, les résultats obtenus sur les listings montrent que ces navires ont des attentes moyennes quasiment nulles dans les 30 simulations.

Vu la faible proportion de ces navires (2 entrées-sorties par jour en moyenne) et de leur priorité absolue sur les navires de type A,C , on s'attendait à de tels résultats.

Les informations obtenues sur les gains moyens ne sont pas suffisantes, si l'on se fixe pour but de faire un calcul économique précis. En effet, si un gain moyen de quelques minutes par navires peut représenter, sur un grand nombre de navires un total important, ce total risque de ne pas être réaliste (*).

Il est donc nécessaire de ne comptabiliser que des gains individuels significatifs.

II.1.2. Comparaison des attentes individuelles(* *)

Pour λ fixé, nous avons comparé, pour chaque navire, l'attente subie dans la simulation sous fonctions F, avec l'attente subie dans la simulation sous fonctions D, (* * *)

Le tableau 2 contient les cumuls des gains individuels, supérieurs ou égaux à 1 heure.

Le tableau 3 contient les mêmes informations extrapollées. sur un an, et chiffrées sur une base de 1 000 F de l'heure.(* * * *)

II.1.3. Conclusions

Ces opérations de tests ont été faites avec des fonctions d'estimation limites (F et D).

.../...

(*) Voir tableau A1 en annexe.

(* *) Les résultats obtenus avec le paramètre $5\,E_o$ n'ont pas de grande signification réelle. Ils nous ont servi uniquement à préciser l'allure de la courbe 1. Nous n'en parlerons plus désormais.

(* * *) Ce qui est possible en vertu de la remarque I.5.4.

(* * * *) D'après le rapport DAVID-LEVY cité en référence 1

Les fonctions d'estimations caractérisant la présente d'un radar (fonction β^1) et l'absence d'un radar (fonction β^2) seront telles que pour tout t :

$$F(t) < \beta^1(t) \leq \beta^2(t) < D(t).$$

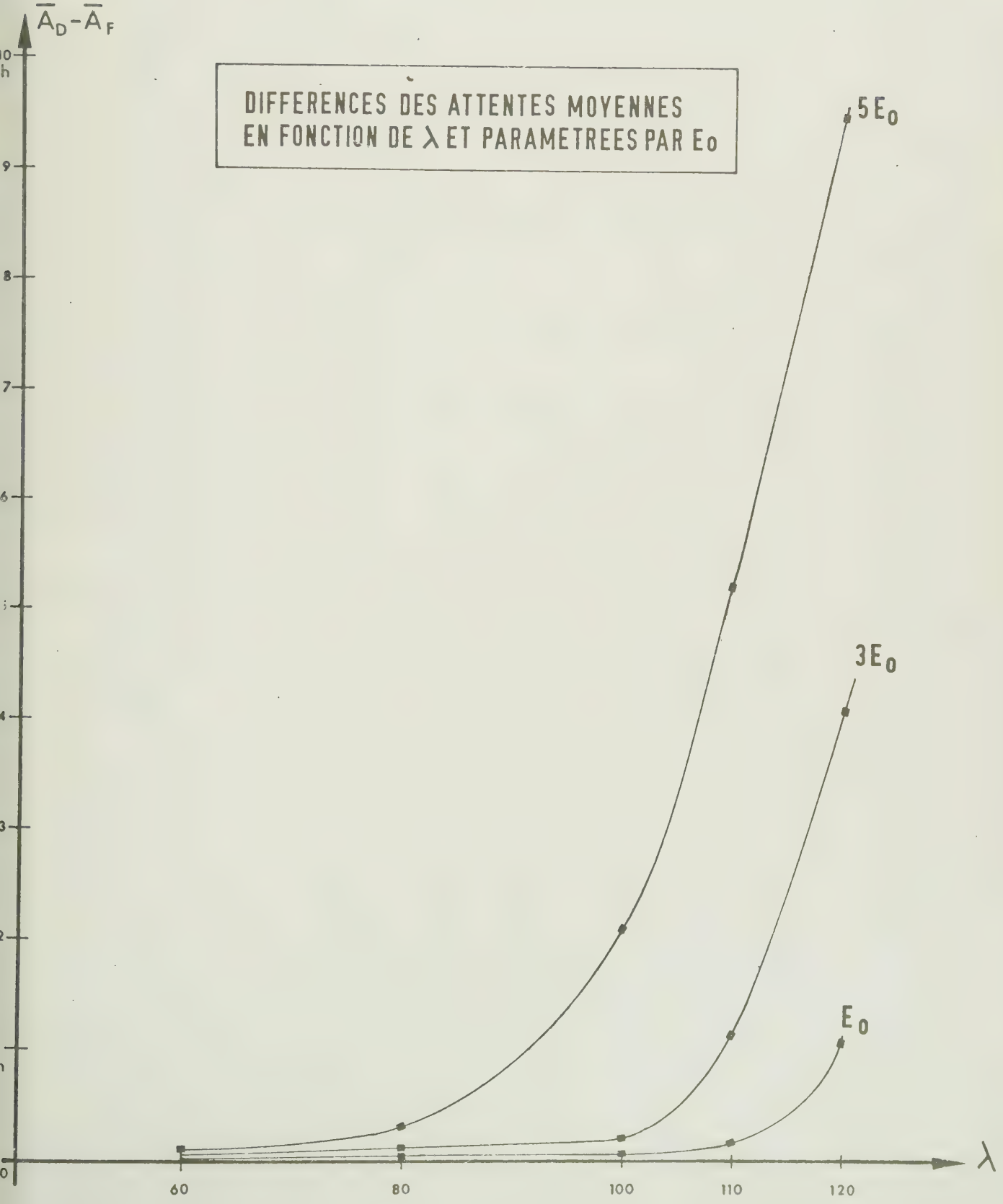
A la vue des résultats présentés dans le tableau 3, on peut espérer obtenir un gain appréciable grâce au radar, dès que $\lambda \geqslant 80$.

Il nous paraît donc important de recueillir expérimentalement la forme des fonctions d'estimation caractérisant l'absence ou la présence d'un radar de surveillance portuaire et l'ordre de grandeur des erreurs initiales (ε_0).

1.- TABLEAU DES ATTENTES MOYENNES DE NAVIRE A,C

x.y x heures
y minutes

E_o / λ	E_o			$3E_o$			$5E_o$		
	$\overline{A}_D$	$\overline{A}_F$	$\overline{A}_D-\overline{A}_F$	$\overline{A}_D$	$\overline{A}_F$	$\overline{A}_D-\overline{A}_F$	$\overline{A}_D$	$\overline{A}_F$	$\overline{A}_D-\overline{A}_F$
60	0.24	0.23	0.01	0.28	0.25	0.03	0.34	0.27	0.07
80	0.41	0.39	0.02	0.53	0.45	0.08	1.21	0.50	0.31
100	1.10	1.01	0.09	1.39	1.21	0.18	3.50	1.41	2.09
110	1.59	1.43	0.16	3.45	2.34	1.11	9.37	4.10	5.27
120	3.42	2.39	1.03	9.23	5.11	4.12	18.48	8.58	9.50


$\overline{A}_D - \overline{A}_F$
DIFFERENCES DES ATTENTES MOYENNES
EN FONCTION DE λ ET PARAMETREES PAR E0
5E0
3E0
E0
λ
60
80
100
110
120

2. CUMUL DES GAINS INDIVIDUELS SUPERIEURS OU EGAUX A 1 HEURE (*)

Durée de la simulation : 3 semaines

λ \ E_o	E_o				$3E_o$			
TYPE	A	C	B	TOUS	A	C	B	TOUS
60	0	3	0	3	3	5	0	8
80	3	0	0	3	97	31	0	128
100	132	47	0	179	368	64	0	432
110	347	102	1	450	1886	136	0	2022
120	1571	265	1	1837	3679	330	3	4012

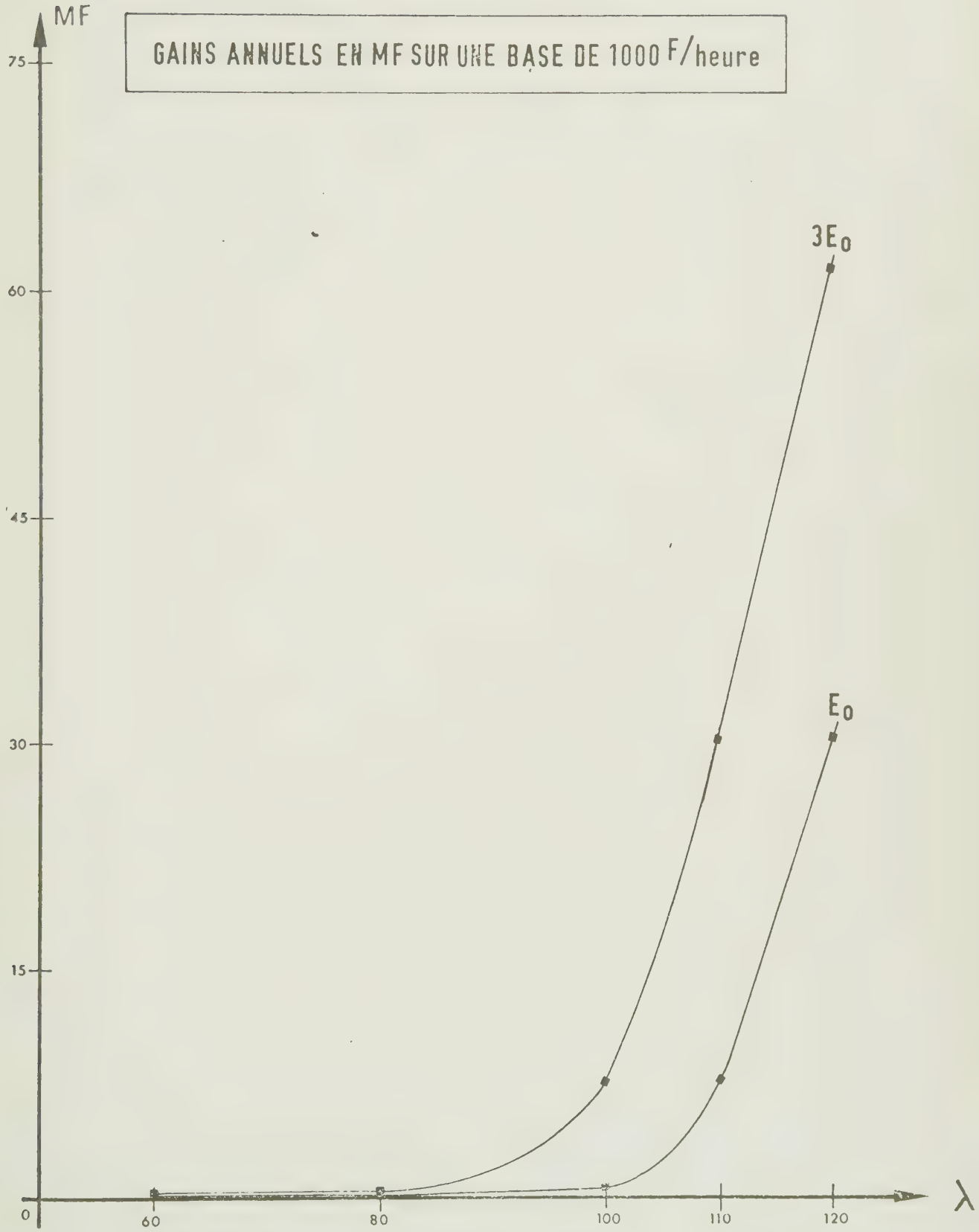
(*) Pour informations complémentaires, nous avons fait sortir sur listing la répartition des gains individuels de 0 à 8 heures par tranches de 30 minutes (voir Annexe IV.3).

3. GAINS ANNUELS en HEURES et en MF

A titre indicatif nous avons pris un coût horaire moyen de 1 000 F par navire.

Dans ce tableau, nous n'avons totalisé que des gains supérieurs ou égaux à 1 heure.

E_o / λ	E_o		$3E_o$	
	HEURES	MF	HEURES	MF
60	52	0,052	139	0,14
80	52	0,052	2220	2,2
100	3102	3,1	7488	7,5
110	7800	7,8	35048	35
120	31841	31,8	69641	69,5


GAINS ANNUELS EN MF SUR UNE BASE DE 1000 F/heure
MF
75
60
45
30
15
0
60
80
100
110
120
λ
3E0
E0

II.2. Sécurité

Rappelons que l'officier de port peut intervenir sur les navires en mouvement par des ordres d'arrêts ou de ralentissement, lorsqu'il le juge nécessaire. Il nous a paru raisonnable de penser que le risque d'une situation dangereuse encouru par un navire est proportionnel à l'intensité du ralentissement ou de l'arrêt que l'officier de port lui aura fait subir afin de l'éviter. Le tableau 4 contient les probabilités que le ralentissement subi par 1 navire dans la simulation sous fonction F (resp. sous fonction D) R_F (resp. R_D) soit inférieur à 30 minutes.

On constate dans tous les cas que

$$P\ (R_F < 30 \text{ minutes}) > P\ (R_D < 30 \text{ minutes}).$$

TABLEAU 4

E_o / λ	E_o		$3E_o$	
	$P(R_F < 30)$	$P(R_D < 30)$	$P(R_F < 30)$	$P(R_D < 30)$
60	0,99	0,99	0,98	0,97
80	0,99	0,99	0,97	0,96
100	0,99	0,98	0,97	0,94
110	0,99	0,98	0,96	0,92
120	0,98	0,97	0,95	0,91

III.- DEROULEMENT DES OPERATIONS DE TEST - PERFORMANCES

III.1. Déroulement des opérations

Tous les résultats ont été obtenus à l'aide de deux programmes :

- Le programme de simulation, écrit en SIMSCRIPT.
- Un programme de traitement des attentes individuelles écrit en FORTRAN.
- Pour optimiser le temps de calcul, le programme SIMSCRIPT, une fois compilé, a été envoyé sur une bande magnétique.
- Le traitement des attentes individuelles s'est fait par l'intermédiaire d'une bande magnétique remplie par le programme SIMSCRIPT et traitée par le programme FORTRAN.

Le schéma ci-après illustre le déroulement des opérations.

III.2. Temps de calcul

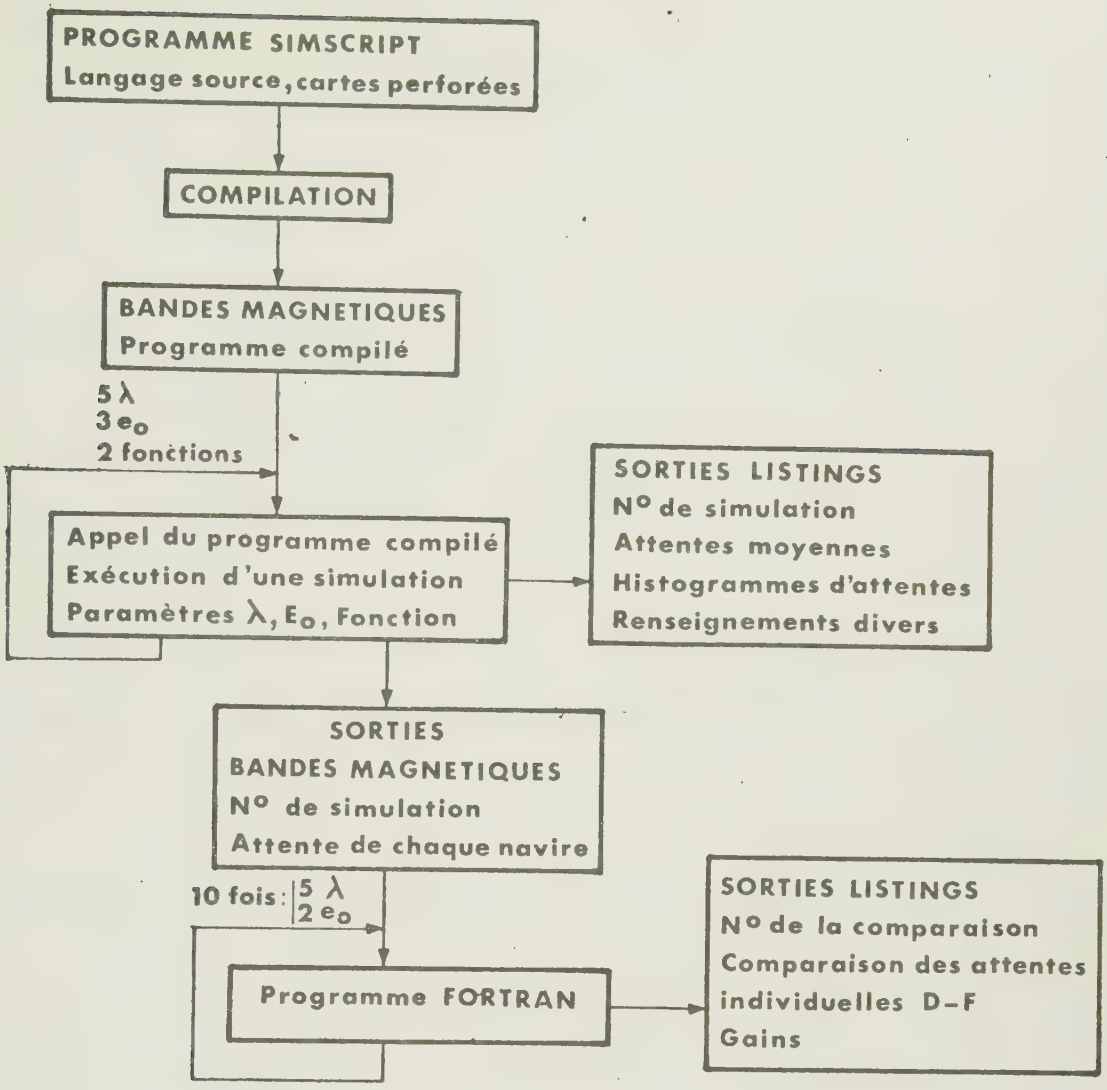
- temps de compilation du SIMSCRIPT 15 minutes
- temps moyen d'exécution du SIMSCRIPT 5 minutes 25'
- temps moyen d'exécution du FORTRAN 1 minute 30'

Le temps de calcul utilisé au cours de ces opérations de test se décompose de la manière suivante :

1 compilation	15 minutes
30 passages du SIMSCRIPT	163 minutes
10 passages du FORTRAN	15 minutes

soit au total : 193 minutes ou 3 heures 13 minutes

Ces opérations se sont déroulées au centre de calcul de PARIS VI sur une Control Data 3600


PROGRAMME SIMSCRIPT
Langage source, cartes perforées
COMPILATION
BANDES MAGNETIQUES
Programme compilé
5 λ
3 e₀
2 fonctions
Appel du programme compilé
Exécution d'une simulation
Paramètres λ, E₀, Fonction
SORTIES LISTINGS
N° de simulation
Attentes moyennes
Histogrammes d'attentes
Renseignements divers
SORTIES
BANDES MAGNETIQUES
N° de simulation
Attente de chaque navire
10 fois : 5 λ
2 e₀
Programme FORTRAN
SORTIES LISTINGS
N° de la comparaison
Comparaison des attentes
individuelles D-F
Gains

T A B L E A U A.1

		x gain calculé avec des différences individuelles 1 H	y gain calculé par les moyennes	$\frac{y - x}{y}$
60	E_o	3	21	0,86
	$3E_o$	8	63	0,86
80	E_o	3	56	0,94
	$3E_o$	128	224	0,43
100	E_o	179	315	0,43
	$3E_o$	432	630	0,31
110	E_o	450	616	0,27
	$3E_o$	2022	2734	0,26
120	E_o	1837	2646	0,31
	$3E_o$	4012	10584	0,62

x, y exprimés en heures.

5.1 CONCLUSIONS SUR LE MODÈLE.

Le modèle qui vient d'être décrit a pour but de déterminer l'efficacité d'un système de surveillance de la navigation. Il reste encore à recueillir certaines données (fonction d'estimations, ...), à étudier la fiabilité des résultats obtenus, et ce n'est qu'après avoir franchi cette étape que l'on pourra s'attacher à l'aspect économique de l'étude.

Au stade actuel, il nous paraît bon de revenir sur les caractéristiques de l'outil présenté.

Ces caractéristiques paraissent pouvoir être regroupées sous trois rubriques :

- L'OUTIL EST MODULAIRE.

Cette modularité permet une adaptation rapide du modèle à un port de configuration et d'exploitation différentes de celles du port du Havre, et où l'on doit distinguer des classes différentes de navires.

Adaptation à une configuration différente.

D'après 3.2.2.1 on a vu qu'un port est caractérisé par un ensemble de zones $Z = [Z_i, i = 1, \ldots, N]$ et une courbe de marée.

Un navire X désirant effectuer sa manœuvre emprunte, en fonction de sa classe, un sous-ensemble de Z : $Z'(X) = [Z_{i_1}, \ldots, Z_{i_j}, \ldots, Z_{i_k}]$ où Z_{i_j} représente la $j^{ième}$ zone empruntée par le navire dans l'ordre chronologique $[j < j + 1]$.

Les Z_{i_j} sont mémorisés dans le tableau ZONAV (cf. 3.2.3.1.2). Si l'on modifie le nombre de zones, il suffit de modifier en conséquence les dimensions du tableau ZONAV.

Quant à la marée (si elle existe), il suffit d'introduire la courbe adéquate et les fonctions régissant les durées d'occupation des écluses éventuelles.

Adaptation à des classes différentes de navires.

Cette adaptation s'impose si l'on doit :

- soit considérer d'autres types de navires ;
- soit considérer un nombre différent de zones portuaires ;
- soit les deux à la fois.

Dans tous les cas, il suffit de définir :

- la nouvelle arborescence des codes (3.2.2.2 – F8 –) ;
- la nouvelle arborescence des zones (– F9 –) ;
- la nouvelle arborescence des lois (– F10 –).

En ce qui concerne la loi d'arrivée des navires, il suffit de l'introduire comme une donnée.

Adaptation à une exploitation différente.

- **règles de sécurité.**

  En fonction des nouvelles classes de navires et des nouvelles zones, on établit les nouvelles matrices de sécurité (3.2.2.3.2).

- **règles de priorité.**

  Dans une file d'attente donnée, la notion de POIDS, intégrant les priorités dues aux types et aux contraintes de la marée, reste valable. Pour les priorités entre files d'attente, il est nécessaire de modifier le sous-programme gestion des priorités (GP).

— Fonctions d'estimation.

Il est nécessaire de les recueillir statistiquement dans chaque zone.

• L'OUTIL EST PARAMÉTRIQUE.

Pour un port donné, cette caractéristique permet d'apprécier la sensibilité des résultats à la modification :

- de la loi d'arrivée des différents types de navires ;
- des règles de sécurité ;
- des règles de priorité ;
- du système de surveillance de la navigation (fonctions d'estimation) ;
- des conditions météorologiques (en jouant sur les règles de sécurité et les lois des durées de manœuvre des navires).

• L'OUTIL EST EFFICACE.

Pour autant que l'on puisse actuellement en juger, le coût d'exploitation de l'outil ne devrait pas être élevé. Le temps de calcul nécessaire à l'obtention des résultats présentés est de l'ordre de 5 minutes, sur une CDC 3600, pour simuler une durée de trois semaines, soit en moyenne 2 000 navires.

5.2 CONCLUSIONS SUR LA MÉTHODE.

Les principales difficultés soulevées par les techniques de simulation sont (1,2) :

- la validation du modèle ;
- la convergence statistique.

a/ Validation du modèle.

Il semble très difficile de valider le modèle avec une situation connue du passé. La principale difficulté est liée aux nombreux facteurs humains inhérents à l'activité portuaire (2.1.3 : notamment les règles de sécurité établies peuvent être modifiées en fonction de cas particuliers).

Cependant on peut faire une validation partielle en simplifiant certaines hypothèses du modèle (essentiellement les règles de priorité) et en comparant les résultats de la simulation aux résultats issus de la théorie des files d'attente.

b/ Convergence statistique.

Il y a lieu de s'assurer que la durée de la simulation a été bien règlée pour obtenir une précision donnée. Le processus aléatoire considéré dans l'étude étant $\{A_n, n = 1, ..., N\}$ où A_n représente l'attente du $n^{ième}$ navire, on cherchera à déterminer,

- à partir de quel moment le processus peut être considéré comme stationnaire (élimination du régime transitoire, influencé par les conditions initiales).
- quelle doit être la durée de la simulation pour que l'estimateur empirique $\bar{A}_N$ approche, avec une précision donnée, la moyenne théorique du processus.

L'étude de ces deux parties fait l'objet du deuxième volume de cette thèse, travail personnel de Thomas DEGRÉ.

5.3 LES PROLONGEMENTS POSSIBLES

Dans le cadre de notre étude, nous ne nous sommes préoccupés que des attentes dues aux contraintes imposées par la marée et le trafic.

En reprenant notre définition, on a considéré que tous les navires qui appelaient l'officier de port étaient « prêts », c'est-à-dire qu'ils possédaient les ressources nécessaires pour effectuer leur manœuvre (pilotes et remorqueurs).

Les structures mises en place pour simuler le port et les mouvements de navires peuvent servir de base à l'élaboration d'un système d'aide à la décision de l'officier de port.

Outre les problèmes d'affectation d'une heure de départ, ou d'une fourchette d'heure de départ, ce système pourrait présenter des informations utiles pour l'attribution des ressources (pilotes et remorqueurs) aux navires.

L'étude de ce système fait l'objet du troisième volume de cette thèse, travail personnel de Xavier LEFÈVRE.

BIBLIOGRAPHIE

1. Etude sur la rentabilité des radars de surveillance portuaire. Y. DAVID et J.F. LÉVY. Revue technique du Service des Phares et Balises, n° 13 - novembre 1971.

2. La simulation et les calculateurs. B. RENARD et J.P. RENAULT. Revue METRA, vol. V, n° 2, 1966.

3. SIMSCRIPT - a simulation language. MARKOWITZ, HARRY, HAUSNER, KARR. Prentice Hall, inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1963.

4. La simulation des systèmes. Ch. Valère FEUVRIER. Dunod, 1971.

5. Cours d'initiation au langage SIMSCRIPT. D. TESSOT. (SEMA.)

6. Les méthodes de simulation. AGARD et autres. Monographie de recherche opérationnelle, n° 7. (Dunod, 1968).

7. Simulation électronique des ports de commerce. BULL GENERAL ELECTRIC. Réf. 00.11.030F.

8. Méthodes de simulation Monte-Carlo et jeux d'entreprise. AGARD J. Cours de 3e cycle. Université de Paris, 1964.

RESUME DE LA DEUXIEME PARTIE.

Dans la deuxième partie de l'étude, nous nous sommes proposés de dégager, à partir du modèle de simulation, les grands principes d'un système conversationnel destiné aux services responsables de l'organisation du trafic dans le port et dans sa zone d'approche.

Ces responsables ont la charge d'un système d'exploitation que nous appellerons système PNR (Port - Navires - Ressources) qui met à la disposition de ses utilisateurs, les navires, un certain nombre de ressources, les pilotes et les remorqueurs pour leur permettre d'évoluer dans le port.

Ils organisent et contrôlent l'activité de ce système conformément :

- aux règles d'exploitation du port,
- aux contraintes d'utilisation des ressources,
- aux demandes des utilisateurs,

dans le but de leur offrir la meilleure qualité de service possible.

L'organisation efficace du système PNR consiste :

- d'une part, à connaître en permanence la situation exacte de ses divers composants : cette connaissance nécessite des échanges d'informations importants, rapides et sûrs entre les divers responsables ;

- d'autre part à déterminer, au moyen de prévisions à court terme, une répartition des ressources et un ordonnancement des manoeuvres corrects parmi les nombreuses solutions envisageables.

Dans la plupart des cas, l'expérience de l'homme alliée aux moyens de transmission usuels, lui permettent d'agir à ces deux niveaux avec efficacité.

Néanmoins, l'utilisation d'un système conversationnel adéquat offrirait aux responsables la possibilité d'obtenir dans tous les cas une mise à jour plus fiable et plus rapide de la situation en cours du système PNR.

De plus ce système conversationnel faciliterait sensiblement la constitution de nombreux fichiers statistiques qui conditionnent la la connaissance précise des activités de chaque composant du système PNR.

Enfin, en présence de certaines configurations complexes, le système conversationnel pourrait leur apporter, sous la forme d'une aide à la décision, des éléments utiles à la recherche d'une répartition des ressources et d'un ordonnancement des manoeuvres les meilleurs possibles.

Le système conversationnel que nous proposons s'articule autour de trois grands principes :

1 - Mettre à la disposition des responsables, un moyen de connaître en permanence la situation des états du système Port-Navires-Ressources. Les navires et les ressources prennent plusieurs états possibles au cours de leur existence dans le système PNR. Exemple : Navire en attente, Navire en mouvement, Ressource libre, Ressource attribuée, Ressource en mouvement.

A la demande des utilisateurs, le système conversationnel établit et met à jour un certain nombre de fichiers correspondant aux différents états possibles pour les navires ou les ressources.

La visualisation de ces fichiers permet aux responsables d'obtenir rapidement les informations voulues sur telle ou telle classe de navires ou de ressources.

2 - Faciliter la tenue de nombreux fichiers statistiques concernant l'activité des divers ouvrages portuaires (écluses, ponts,...) et des mouvements des navires et des ressources.

3 - Fournir aux responsables une aide à l'attribution des ressources et à l'ordonnancement des manoeuvres lorsque la configuration du trafic atteint une certaine complexité.

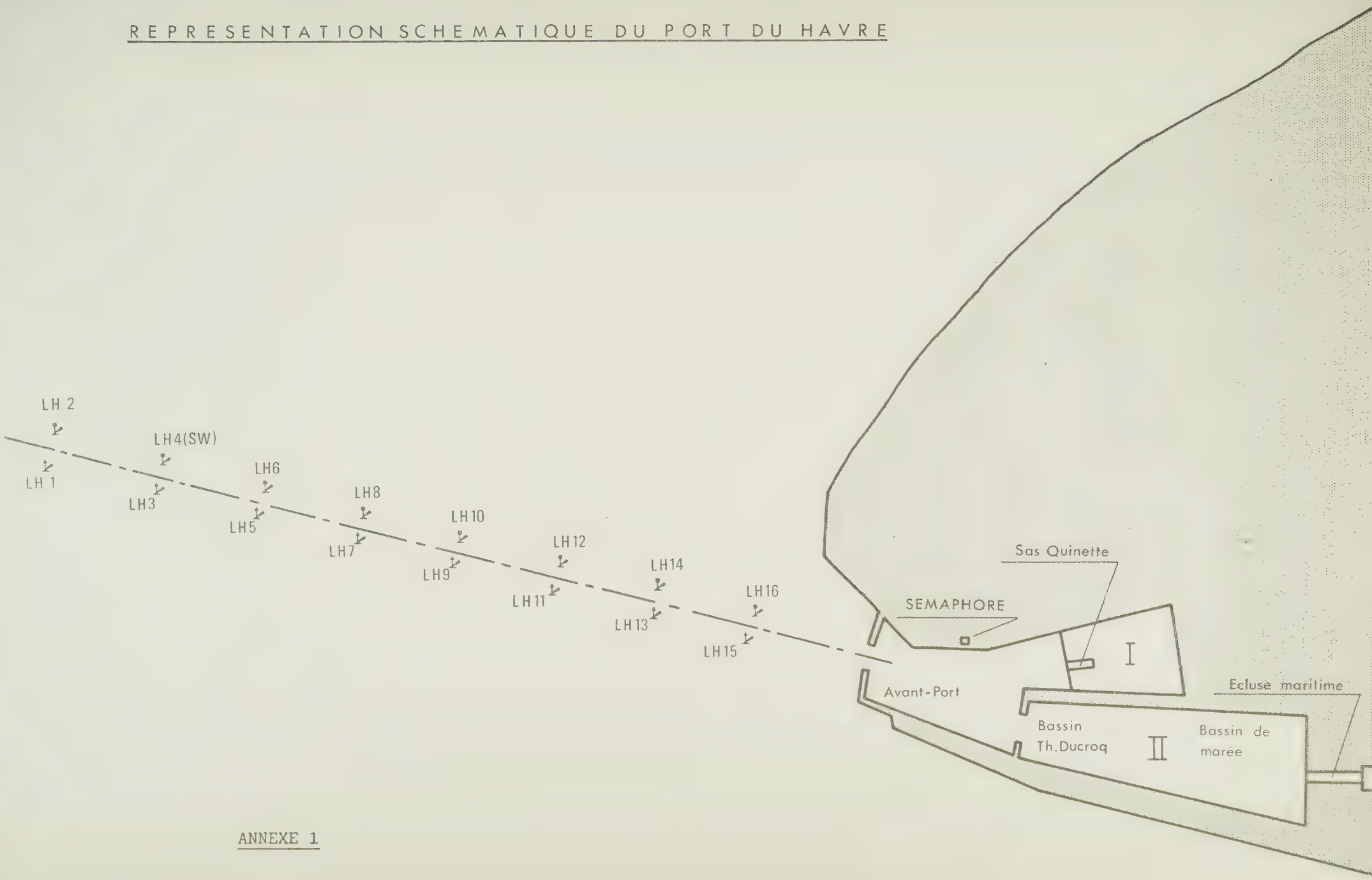
La conception de cette aide à la décision repose sur la notion de plan de service.

Un plan de service est un ensemble de navires à servir, sélectionnés et classés par les responsables. Les demandes de manoeuvre des navires appartenant à ce plan de service sont traitées dans l'ordre par un algorithme qui attribue les ressources au navire et lui affecte une heure de départ.

Dans les configurations complexes, l'expérience des responsables leur permet, en procédant à une première sélection rapide des nombreuses possibilités offertes, de ne retenir qu'un petit nombre de solutions envisageables.

Le système traite les plans de service correspondants et visualise les résultats de chacun d'entre eux. Les responsables retiennent alors tout ou partie des éléments du plan qui leur semble le meilleur.

REPRESENTATION SCHEMATIQUE DU PORT DU HAVRE



ANNEXE 1

BIBLIOGRAPHIE - *BIBLIOGRAPHY*

1. - Des radars de surveillance portuaire
Etude sur la rentabilité
(*Harbour control radars -The cost effectiveness*)
Y.David et J.F. Lévy
Revue technique du Service des Phares et Balises
N° 13 - Novembre 1971

2. - La Simulation et les Calculateurs
(*Simulation and Computers*)
B. Renard et J.P. Renault,
Revue METRA, Vol. V, N° 2, 1966